

## 原 著

下肢動作の制限がハンドボール投球動作に及ぼす影響  
－3次元動作分析による検討－山下裕之<sup>\*1,2</sup> 藤野雅広<sup>\*3</sup> 長尾光城<sup>\*3</sup> 種本翔<sup>\*4</sup> 宮川健<sup>\*3</sup>

## 要 約

成人男子ハンドボール選手8名（24.1±2.8歳）を対象に、下肢動作制限下における投球動作の体幹、上肢活動に着目した3次元分析を実施した。投球課題は、1) 投球方向に向かって3歩移動する3 step shot（以下3SS）、2) 投球方向に左足を1歩踏み出す1 step shot（以下1SS）、3) 的に向かって正対した両下肢固定投げ（No step shot：以下NSS）とした。この3条件下の投球動作を比較した結果、ボール速度は、3SS（22.34±1.23m/s）、1SS（20.93±1.35m/s）、NSS（19.13±1.77m/s）と下肢動作を制限するにしたがって低値を示した、3SSとNSS間には有意差（ $p<0.05$ ）があった。下肢動作が制限されるにしたがって、肘伸展および肩内旋の最大角速度の低下は認められないものの、両肩回旋、胸郭回旋および骨盤回旋の最大角速度は低下し、そのピーク時間は早期にむかえることが示された。ボールリリースまでの時間と角度計測結果から3条件の投球フォームはほぼ一定であった。運動連鎖の観点から見ると、3SS、1SSでは骨盤－胸郭－両肩回旋と下位から上位セグメントへの連鎖を示した。しかし、NSSでは骨盤－胸郭は同期していた。NSSについて個別に分析した結果、2名については、胸郭次いで骨盤のピークをむかえるという逆転パターンを呈していた。ボール速度と3条件で共通して相関を示した変数は骨盤回旋最大角速度時の体幹前傾角であった。本研究結果から、下肢動作の制限によって、体幹部の活動がボール速度に大きく関与していることが示唆された。

## 1. 緒言

ハンドボール競技における投球動作は、ステップシュートやジャンプシュート、助走なしでのシュート、投球方向とは異なる方向へジャンプしてのシュートなど多彩である。基本的に投球方向へのステップ動作を伴う投球動作では、下肢で生み出されたエネルギーを体幹から、上肢、ボールへと伝達していく並進運動と回転運動が組み合わされた運動連鎖で成り立つ<sup>1,8)</sup>。しかし、下肢動作を活かせるにもかかわらず、この運動連鎖が非効率な状態で速いボールを投げようとする、体幹が過剰に前傾、傾斜して肩水平内転トルクを大きく生じさせてしまう、いわゆる“身体がひらいた”フォームになることや、上肢の筋力に過剰に依存した“手投げ”になることがあり、その場合、肩と肘に大きな負担を生じさせる要因になることが指摘されている<sup>9,17)</sup>。

また、下肢のエネルギーを活かせない投球動作に

おいては、体幹と上肢によってエネルギーを生み出しボールへ伝達することになる<sup>18,19)</sup>。その状況下でより速いボールを投げようとする、肩と肘関節運動によって生み出されるエネルギーに過剰に依存することになりやすく、肩と肘の障害の要因となる<sup>19,21)</sup>。そのため、下肢と上肢の連結部位であり、上肢より近位部位となる体幹が力源装置として機能することが重要であり、体幹機能は投擲距離の大きな決定要因となっているという報告もある<sup>1,5-7,22,23)</sup>。

ハンドボール投球動作において、Toyoshimaら<sup>24)</sup>は、下肢動作の制限によってボール速度は低下することを報告しているが、体幹と上肢の活動に及ぼす影響についての詳細な報告は見あたらない。下肢より生み出されるエネルギーの変化によって体幹と上肢活動がどのように変化するのかを把握することは、多彩な投球動作を駆使するハンドボールにおいて、肩と肘に過負荷とならない安定した投球動作を

\*1 川崎医科大学附属川崎病院 リハビリテーションセンター \*2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康科学専攻

\*3 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科 \*4 岩崎整形外科 リハビリテーション科

（連絡先）山下裕之 〒700-8505 岡山市北区中山下2-1-80 川崎医科大学附属川崎病院 リハビリテーションセンター

E-mail: [y.yamashita@hp.kawasaki-m.ac.jp](mailto:y.yamashita@hp.kawasaki-m.ac.jp)

獲得するため、また、ボール速度を向上させるための有益な情報になると思われる。

よって、本研究の目的は、下肢動作制限下でのハンドボール投球動作が体幹、上肢に及ぼす影響について検討することとした。

## 2. 方法

### 2.1 対象

成人男子ハンドボール選手8名(年齢 $24.1 \pm 2.8$ 歳, 身長 $175.4 \pm 4.6$ cm, 体重 $73.9 \pm 6.1$ kg, 競技歴 $11.9 \pm 2.9$ 年, 全員右利き)で、地方トップレベルにある、国体出場レベル(全国大会優勝経験等)の選手とした。投球動作に影響を及ぼすような障害や不調のないことを確認して実施した。対象者にはヘルシンキ宣言の趣旨に基づいて、川崎医療福祉大学倫理委員会の承認(承認番号250)を得た実験計画書および同意書を用いて研究の目的や内容を説明し、実験への協力の同意を得た。

### 2.2 測定および算出方法

#### 2.2.1 測定課題

十分なウォーミングアップを行った後、以下の3つの条件下での投球動作を実施した。

- (1) 投球方向に向かって3歩移動する3 step shot(以下3SS)
- (2) 投球方向に左足を1歩踏み出す1 step shot(以下1SS)
- (3) 的に向かって正対した両下肢固定投げ(No step shot: 以下NSS)

#### 2.2.2 測定条件

ボールは男子公式3号球(約435g)を使用した。床面からの高さ1.65mの位置に0.5m×0.5mの正方形の的を設置し、6m離れた位置から投球した。各3条件の安定した動作を測定するためにランダムではなく各課題毎に連続して3SS, 1SS, NSSと難易度の低い順に実施した。可能な限り速いボール速度で投球するよう指示した。それぞれ5回的に当てることとし、各試技の間に適度な休憩をとることを許可した。解析にはそれぞれ2, 3, 4回目の3試技を用いた。3試技で得られた値の平均値を測定値とした。

身体計測点に反射マーカを貼付した。貼付部位は、以下の11ヵ所とした。

- (1) 左右肩峰, (2) 右肘外側上顆, (3) 右橈骨茎状突起, (4) 右尺骨茎状突起, (5) 第3指先端, (6) 左右腸骨上端部(大転子直上), (7) 左右胸郭下端部(大転子, 6のマーカ, 7のマーカが一直線となる位置), (8) ボール

試技は4台の高速度カメラにて撮影した。撮影速度は200Hz(毎秒200コマ)とした。各カメラの映

像より, Frame-DIAS II (DKH社製)を用いてボールと身体計測点をデジタイズした。デジタイズで得られた二次元座標をDLT法を用いて三次元座標に変換した。得られたデータを6Hzでフィルターにかけて平滑化した。座標のX軸は投球方向, Y軸は投球方向に垂直な方向, Z軸は鉛直方向とした。

### 2.3 計測項目(Kinematic変数)

#### 2.3.1 ボール速度

ボールリリース直後(リリース後1コマ目)のボール速度(m/s)を計測した。

#### 2.3.2 角速度

(1) X軸と左右肩峰を結ぶ線分(両肩)とのなす角度, (2) X軸と左右胸郭下端部を結ぶ線分(胸郭)とのなす角度, (3) X軸と左右腸骨上端部を結ぶ線(骨盤)とのなす角度, (4) 肩内旋としてX軸と肘外側上顆と尺骨茎状突起を結ぶ線分(前腕)とのなす角度, (5) 肘伸展として肩峰と肘外側上顆を結ぶ線分(上腕)と肘外側上顆と尺骨茎状突起(前腕)とのなす角度の5項目の角速度( $^{\circ}/s$ )を計測し、最大角速度値を抽出した(図1)。

#### 2.3.3 角度

(a) ボールリリース時の肩水平内転角, (b) リリース時体幹側方(左側)傾斜角, (c) リリース時体幹前方傾斜角, (d) 肩最大外旋角, (e) 肩最大外旋時の肩外転角, (f) 骨盤最大(左)回旋角, (g) 骨盤最大角速度時の体幹前方傾斜角, (h) リリース時肘伸展角を計測した(図1)。

#### 2.3.4 時間

(1) 最大角速度の時間を計測した。その際にボールリリース時を0秒と設定し、リリース前を正、リリース後を負として表記した。(2) 各5項目の最大角速度時間の順序を調べた。(3) ボールの投球方向(X軸方向)速度が、正の値を示してからリリースまでの時間を計測した。

### 2.4 統計学的処理

計測値は平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。各計測項目について一元配置分散分析とBonferroniの多重比較を用いて3条件間で比較した。また、各計測項目とボール速度との相関はPearsonの相関係数を算出した。統計ソフトはSPSS(Ver.22)を用いた。有意水準は5%未満とした。

## 3. 結果

### 3.1 ボール速度(m/s)

3SSは $22.34 \pm 1.23$  m/s, 1SSは $20.93 \pm 1.35$  m/s, NSSは $19.13 \pm 1.77$  m/sであった。3SSから1SS, NSSと下肢動作が制限されるにしたがって低値を示した。特にNSSは3SSと比較して有意に低値を

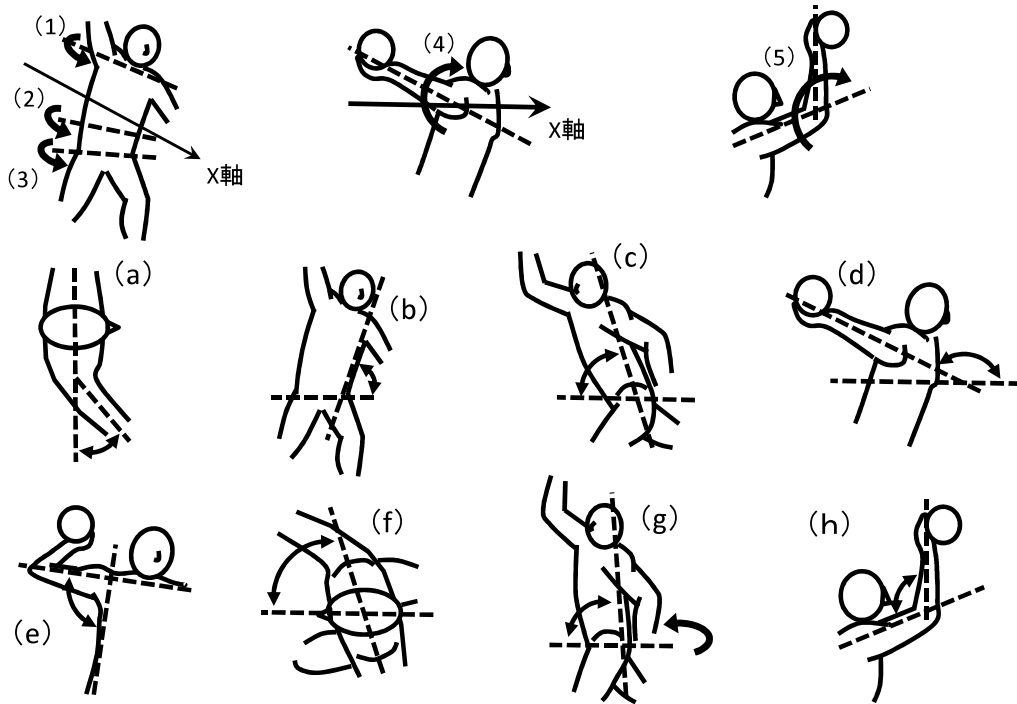


図1 角速度 (1) ~ (5) および角度 (a) ~ (h) 計測部位

示した (表1)。

### 3.2 最大角速度 ( $^{\circ}/s$ )

3条件それぞれにおける5項目の最大角速度の結果を図表に示す (表1, 図2)。3SS から1SS, NSS と下肢動作が制限されるにしたがって, 肘伸展最大角速度は高値を示した。肩内旋最大角速度はほぼ一定であった。両肩回旋と胸郭回旋, 骨盤回旋の最大角速度は低値を示した。特に, 胸郭および骨盤最大角速度については3SS と1SS に比べてNSS は有意に低値を示した。

各3条件の全5項目においてボール速度との相関は認められなかった。

### 3.3 角度

8項目全てにおいて3SS と1SS, NSS の間に統計学的有意差は認められなかった。

ボール速度との相関において, 3条件全ての骨盤最大角速度時体幹前方傾斜角 (3SS :  $r=0.76$ , 1SS :  $r=0.78$ , NSS :  $r=0.76$ ), および3SS と1SS のリリース時体幹前方傾斜角 (3SS :  $r=0.70$ , 1SS :  $r=0.74$ ) との間に有意な正の相関が認められた (表1)。

### 3.4 時間

各5項目の最大角速度時間およびボールの投球方向 (X 軸方向) 速度が, 正の値を示してからリリースまでの時間において, 3条件の間に有意差は認められなかった。ボール速度との相関も認められなかった (表1)。

5項目の最大角速度時間の順序を調べた結果, 8名の平均値では3SS, 1SS, NSS いずれも肘伸展に次いで肩内旋のピークをむかえていた。肩内旋最大角速度時間はリリース直後となっていた。3SS, 1SS では骨盤, 胸郭, 両肩の順序を示したが, NSS では骨盤と胸郭が同期していた (表2, 図3)。

## 4. 考察

ボール速度は3SS, 1SS, NSS の順に低値を示した。特に NSS は3SS と比較して有意に低値を示した。

最大角速度の結果では, 骨盤回旋および胸郭回旋最大角速度で3SS, 1SS と比較してNSS は有意に低値を示した。両肩回旋ではNSS は低値を示すものの統計学的有意差は認められなかった。肩内旋角速度は変化なく, 肘伸展角速度は3SS, 1SS, 次いでNSS と高値を示す傾向となったが, 統計学的有意差は認められなかった。Kageyama ら<sup>25)</sup> は, 大学生投手の分析において下肢の活動は体幹活動およびボール速度に大きく影響を与えることを示唆しているが, 本結果においても, ボール速度低下の主な要因は, 下肢動作で生み出されるエネルギーの減少と骨盤および胸郭の体幹活動の低下であると推測される。そして, 上肢活動に依存した結果が, 肩内旋と肘伸展角速度の維持, 高値を示すことになったものと考えられる。下肢動作が制限された状況下の水球の投球動作や車いす槍投げ動作において, 体幹活動

表1 3条件下での投球動作における変数およびボール速度との関係

	3SS	1SS	NSS	多重比較
ボール速度 (m/s)	22.34 ± 1.23	20.93 ± 1.35	19.13 ± 1.77	3SS-NSS 間に有意差あり (p<0.05)
投球方向 + ~ ボールリリース (s)	0.28 ± 0.06	0.27 ± 0.07	0.29 ± 0.06	NS
角速度 (°/s)				
肘伸展最大角速度	738.85 ± 88.97	774.10 ± 77.30	830.71 ± 71.63	NS
肩内旋最大角速度	1294.82 ± 89.79	1278.83 ± 101.38	1260.24 ± 87.52	NS
両肩回旋最大角速度	836.10 ± 41.42	823.78 ± 51.82	766.68 ± 70.13	NS
胸郭回旋最大角速度	760.48 ± 49.22	733.44 ± 46.32	619.02 ± 71.75	3SS-NSS 間, 1SS-NSS 間に有意差あり (p<0.05)
骨盤回旋最大角速度	708.93 ± 43.06	676.62 ± 47.96	555.48 ± 74.94	3SS-NSS 間, 1SS-NSS 間に有意差あり (p<0.05)
角度 (°)				
肩最大外旋角	127.69 ± 8.04	125.78 ± 10.02	127.62 ± 7.52	NS
肩外転角 (肩最大外旋時)	79.06 ± 4.67	78.45 ± 5.62	82.04 ± 4.62	NS
肩水平内転角 (リリース時)	10.12 ± 8.73	10.72 ± 9.45	10.87 ± 10.63	NS
骨盤回旋角 (リリース時)	69.08 ± 6.93	69.16 ± 6.60	63.43 ± 7.95	NS
体幹前傾角 (骨盤最大角速度時)	78.98 ± 5.30* (r=0.76)	79.35 ± 4.66* (r=0.78)	74.05 ± 3.87* (r=0.76)	NS
体幹前傾角 (リリース時)	63.25 ± 6.38* (r=0.70)	65.40 ± 5.97* (r=0.74)	64.05 ± 7.83	NS
体幹傾斜角 (リリース時)	56.04 ± 7.24	57.52 ± 5.77	54.29 ± 8.84	NS
肘伸展角 (リリース時)	106.69 ± 7.86	105.78 ± 8.61	104.92 ± 9.10	NS

Mean ± SD, ボール速度と相関ありは変数末尾に \* : p<0.05 ( ) 内相関係数, NS : no significant

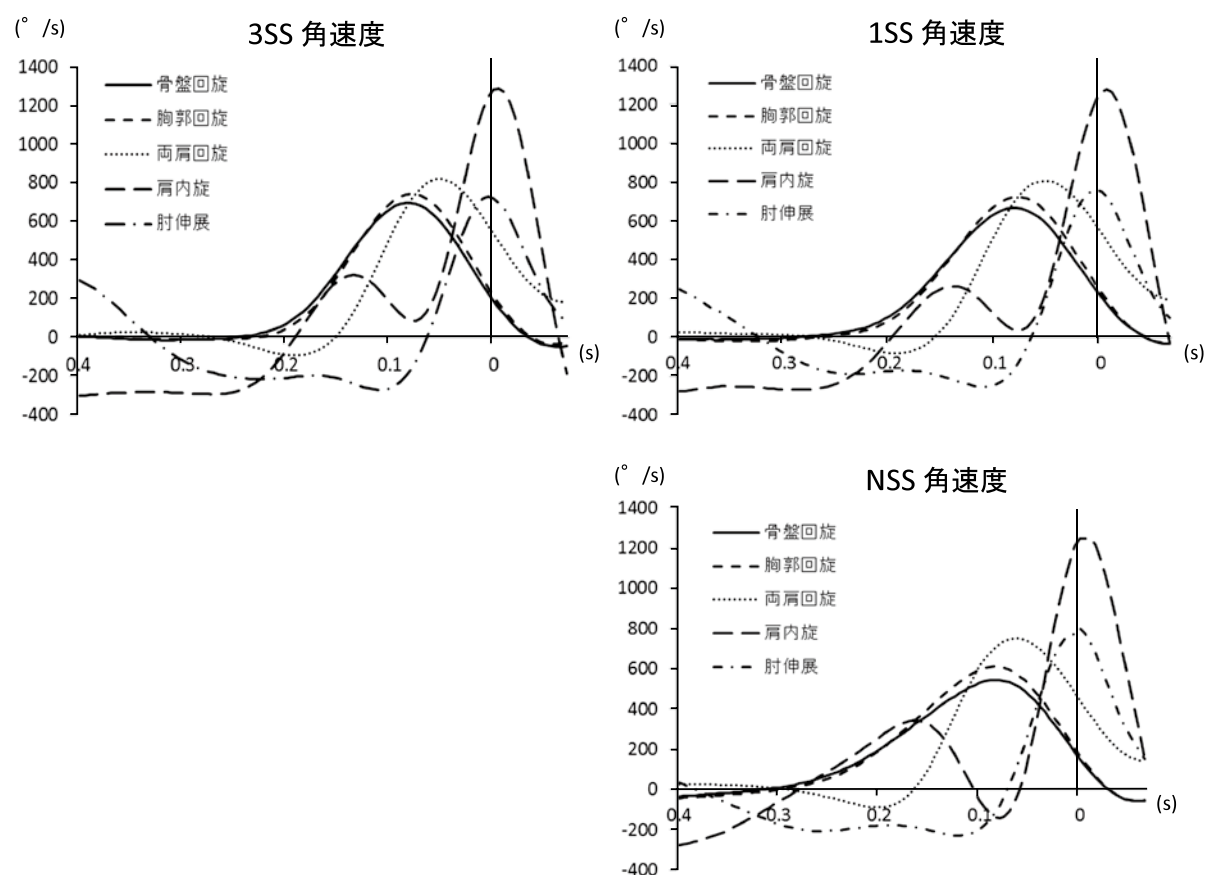


図2 3条件下での投球動作における平均角速度

表2 3条件下での投球動作における角速度ピーク時間

	3SS	1SS	NSS	多重比較
骨盤回旋角速度ピーク時間 (S)	0.082±0.010	0.082±0.009	0.085±0.011	NS
胸郭回旋角速度ピーク時間 (S)	0.079±0.010	0.080±0.009	0.085±0.010	NS
両肩回旋角速度ピーク時間 (S)	0.053±0.013	0.055±0.012	0.067±0.013	NS
肘伸展角速度ピーク時間 (S)	0.005±0.005	0.005±0.006	0.006±0.007	NS
肩内旋角速度ピーク時間 (S)	-0.003±0.003	-0.005±0.002	-0.005±0.004	NS

Mean ± SD, NS : no significant

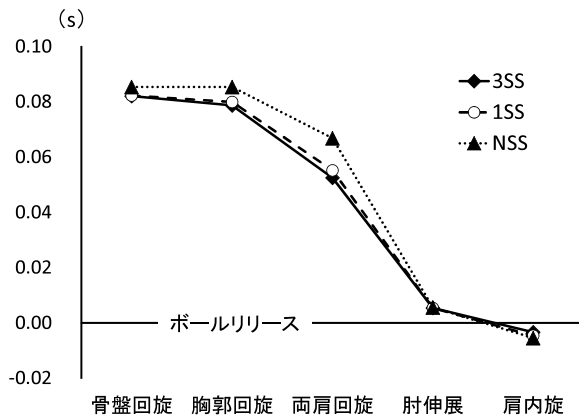


図3 各セグメント最大角速度時の時間経過 (ピークタイミング)

が高いほど、球速や投擲距離を向上させることを報告している<sup>22,23)</sup>。よって、上肢に過剰に依存することを回避するためにも、骨盤および胸郭の体幹活動を高めることは、障害予防および球速向上のための着目すべきポイントと言える。

加えて、Fleisig ら<sup>9,12-14)</sup> は、上肢の力源を増加させる際に体幹の過剰な前傾や肩水平外転を引き起こす(いわゆる“からだが出っ込む”“身体がひらく”)ことになり、肩と肘の障害を発症する原因となることを指摘している。今回の結果では3SSと1SSと比較して、NSSにおいてボールリリース時の身体前傾角の増加や肩水平内転角の減少、肘下がり現象は認められなかった。ボールが投球方向に動き出してからリリースまでの時間にも差はなく、一定のフォームを維持できていた。よって、本研究の対象者レベルにおいては、NSSの投球動作によって障害リスクを高める危険性は低いものと考えられる。

今回計測した変数のうち、3条件全てに共通してボール速度と相関を示した項目は、骨盤回旋最大角速度時の体幹前傾角であった。すなわち、投球方向へ骨盤が急速に回旋した時に身体が起きているほどボール速度は増加していた(表1)。Matsuo ら<sup>26)</sup> は大学生投手を分析した結果、ボール速度が速い程体幹の前傾が強い傾向があることを示しており、本研究結果は反対の傾向を示すこととなった。しかし、

過剰な前傾は肩水平外転の増加(いわゆる身体がひらく)を引き起こすことが危惧されるため、安全で回旋モーメントから屈曲モーメントへ効率よく推移する至適角度があると考えている。3SSと1SSではステップでの並進運動から回転運動へ変換される際に、また、NSSではステップ動作が無い場合、骨盤回旋最大角速度時に体幹を軽度前傾位に保持することが重要である可能性がある。

5つのセグメントの角速度のピーク順序を調べた結果、3条件全てにおいて肘伸展に次いで肩内旋ピークをむかえていた。ハンドボール投球動作における近位-遠位セグメントの連鎖についての研究では、肩次いで肘のピークと肘次いで肩のピークと結果が分かれている<sup>27-31)</sup>。このことは世界トップレベルの選手においても確認されている<sup>28)</sup>。また、レベルの差は関係ないという報告<sup>31)</sup>もあり、この結果は特異なことではないようである。ハンドボールでは野球と比べてボールの質量が重いため、腕を鞭打ち様に駆使する whip-like type と腕を肩を中心に振り回すような circular type の2つのタイプに分かれるが<sup>32)</sup>、本研究の対象者では、whip type は1名と見受けられ、その影響であると推測される。また、3SSと1SSでは骨盤-胸郭-両肩回旋と体幹部の下位から上位の連鎖を示しているが、NSSでは骨盤-胸郭は同期していた。対象者8名を個別に見ると、胸郭に次いで骨盤回旋ピークといった下位-上位の連鎖が逆転している2名を認めた。3SSと1SSでは下肢でのエネルギーを円滑に上肢へ伝達する役割を果たせばよいが、NSSでは下肢活動がほぼ無いため体幹部で力源の役割を果たすことが求められる。その結果、骨盤および胸郭の連鎖を活かすのではなく、1つのユニットとして体幹を剛体化して活用していることを推測している。また、NSSでは、上肢の力源としての役割が3SSと1SSに比べて相対的に増加することになると思われる。よって、体幹部には上肢が前方へ向かう力の反作用に抗する役割が課せられているのかもしれない。骨盤よりも胸郭回旋が早期にピークをむかえている2名については、その反作用の力に十分抗しきれていない結果であることが推測される。そこで確認のためにこの2名を

除いた6名でボール速度と5つのセグメントの角速度との相関を調べた結果, NSSにおいて肩内旋, 胸郭, 骨盤回旋角速度で非常に強い相関を認めた(肩内旋:  $r=0.82$  胸郭回旋:  $r=0.85$ , 骨盤回旋:  $r=0.94$ ). よって, 骨盤-胸郭のピークが逆転している2名については体幹の役割を十分に果たせず, ボール速度を著しく低下させていることが窺えた.

投球フォームには個性がある<sup>33)</sup>. よって, 一概に述べることは困難であるが, 3条件下の投球動作の比較結果から, 体幹部の過度の前傾を抑制し, 体幹部の回旋速度を高めることは, ボール速度を向上させるための1要因となる可能性が示唆された.

## 5. まとめ

成人男子ハンドボール選手を対象に, 下肢動作を制限した3SS, 1SS, NSSの3条件下での投球動作の3次元動作分析を行った. 下肢動作が制限されるにしたがって, 肘伸展および肩内旋の最大角速度の低下は認められないものの, 両肩回旋, 胸郭回旋および骨盤回旋の最大角速度は低下し, そのピーク時間は早期にむかえることが示された. ボール速度と3条件で共通して相関を示した変数は骨盤回旋最大角速度時の体幹前傾角であった. 3SS, 1SS, NSSの3条件下の投球動作の比較を行った結果, 体幹部の活動がボール速度に大きく関与していることが示唆された.

## 文 献

- 1) Burkhart SS, Morgan CD and Kibler WB: The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy*, **19**(6), 641–661, 2003.
- 2) van den Tillaar R and Ettema G: Instructions emphasizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Perceptual and Motor Skills*, **97**, 731–742, 2003.
- 3) Roach NT and Lieberman DE: Upper body contributions to power generation during rapid, overhand throwing in humans. *Journal of Experimental Biology*, **217**, 2139–2149, 2014.
- 4) Seroyer ST, Nho SJ, Bach BR Jr., Bush-Joseph CA, Nicholson GP and Romeo AA: Shoulder pain in the overhead throwing athlete. *Sports Health*, **1**(2), 108–120, 2009.
- 5) Young JL, Herring SA, Press JM and Casazza BA: The influence of the spine on the shoulder in the throwing athlete. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, **7**(1), 5–17, 1996.
- 6) Calabrese GJ: Pitching mechanics, revisited. *International Journal of Sports Physical Therapy*, **8**(5), 652–660, 2013.
- 7) Hong D and Roberts EM: Angular movement characteristics of the upper trunk and hips in skilled baseball pitching. *Biomechanics in Sports XI: Proceedings of the XI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*, 338–343, 1993.
- 8) Ishida K and Hirano Y: Effects of non-throwing arm on trunk and throwing arm movements in baseball pitching. *International Journal of Sport and Health Science*, **2**, 119–128, 2004.
- 9) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ and Escamilla RF: Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *American Journal of Sports Medicine*, **23**(2), 233–239, 1995.
- 10) Wilk KE, Meister K and Andrews JR: Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete. *American Journal of Sports Medicine*, **30**(1), 136–151, 2002.
- 11) Meister K: Injuries to the shoulder in the throwing athlete. Part one: Biomechanics/pathophysiology/classification of injury. *American Journal of Sports Medicine*, **28**(2), 265–275, 2000.
- 12) Fleisig GS, Barrentine SW, Escamilla RF and Andrews JR: Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, **21**(6), 421–437, 1996.
- 13) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF and Andrews JR: Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of Biomechanics*, **32**(12), 1371–1375, 1999.
- 14) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ and Escamilla RF: Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *American Journal of Sports Medicine*, **23**(2), 233–239, 1995.
- 15) Jobe FW, Tibone JE, Perry J and Moynes D: An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching. A preliminary report. *American Journal of Sports Medicine*, **11**(1), 3–5, 1983.
- 16) Dillman CJ, Fleisig GS and Andrews JR: Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics.

- Journal of Orthopedics Sports Physical Therapy*, 18(2), 402–408, 1993.
- 17) Morriss C and Bartlett R : Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw. *Sports Medicine*, 21(6), 438–446, 1996.
  - 18) Elliott BC and Armour J : The penalty throw in water polo : a cinematographic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 103–114, 1988.
  - 19) Feltner ME and Taylor G : Three-dimensional kinetics of the shoulder, elbow, and wrist during a penalty throw in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 347–372, 1997.
  - 20) Whiting WC, Puffer JC, Finerman GA, Gregor RJ and Maletis GB : Three-dimensional cinematographic analysis of water polo throwing in elite performers. *American Journal of Sports Medicine*, 13(2), 95–98, 1985.
  - 21) Mero A, Komi PV, Korjus T, Navarro E and Gregor RJ : Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 166–177, 1994.
  - 22) 高木英樹 : 水球競技における投球速度向上要因について. *バイオメカニクス研究*, 16(3), 162–168, 2012.
  - 23) Chow JW, Kuenster AF and Lim YT : Kinematic analysis of javelin throw performed by wheelchair athletes of different functional classes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2(2), 36–46, 2003.
  - 24) Toyoshima S, Hoshikawa T, Miyashita M and Oguri T : Contribution of the body parts to throwing performance. In Komi PV ed, *Biomechanics IV*, University Park Press, Baltimore, 169–174, 1974.
  - 25) Kageyama M, Sugiyama T, Takai Y, Kanehisa H and Maeda A : Kinematic and kinetic profiles of trunk and lower limbs during baseball pitching in collegiate pitchers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(4), 742–750, 2014.
  - 26) Matsuo T, Escamilla RF, Fleisig GS, Barrentine SW and Andrews JR : Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 1–13, 2001.
  - 27) Jöris HJ, van Muyen AJ, van Ingen Schenau GJ and Kemper HC : Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of Biomechanics*, 18(6), 409–414, 1985.
  - 28) van den Tillaar R and Ettema G : Is there a proximal-to-distal sequence in overarm throwing in team handball? *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 949–955, 2009.
  - 29) Fradet L, Botcazou M, Durocher C, Cretual A, Multon F, Prioux J and Delamarche P : Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence? *Journal of Sports Sciences*, 22(5), 439–447, 2004.
  - 30) Fradet L, Kulpa R, Bideau B, Multon F and Delamarche P : Kinematic simulation of handball throwing. *17th European Simulation Multiconference*, 323–328, 2003.
  - 31) Wagner H, Pfusterschmied J, Von Duvillard SP and Müller E : Skill-dependent proximal-to-distal sequence in team-handball throwing. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 21–29, 2012.
  - 32) van den Tillaar R, Zondag A and Cabri J : Comparing performance and kinematics of throwing with a circular and whip-like wind up by experienced handball players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(6), 373–380, 2013.
  - 33) Hong DA, Cheung TK and Roberts EM : A three-dimensional, six-segment chain analysis of forceful overarm throwing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11(2), 95–112, 2001.

(平成27年5月15日受理)

## Effect of Limited Lower Extremity Activity on Handball Overarm Throwing – study on three-dimensional analysis

Yasuyuki YAMASHITA, Masahiro FUJINO, Mitsushiro NAGAO,  
Shou TANEMOTO and Takeshi MIYAKAWA

(Accepted May 15, 2015)

**Key words** : handball throwing, upper extremity, trunk, no step shot, three-dimensional analysis

### Abstract

In this study, we carried out a three-dimensional analysis of overarm throwing with limited lower extremity activity in male handball players ( $n=8$ ,  $24.1 \pm 2.8$  years of age), with a focus on activities of the trunk and upper extremities. We divided throwing performance into 3 types : 1) 3-step shot (3SS), 2) 1-step shot (1SS), 3) no-step shot (NSS).

The ball velocity decreased depending on limitation of the lower extremities (significant difference between 3SS and NSS :  $p<0.05$ ), the velocity is  $22.34 \pm 1.23$  m/s in 3SS,  $20.93 \pm 1.35$  m/s in 1SS,  $19.13 \pm 1.77$  m/s in NSS. Maximal angle velocity of elbow extension and shoulder internal rotation did not differ among the 3 types of throwing. However, maximal angle velocity of both shoulder, chest and pelvis rotation decreased and the peak timing occurred early according to the limitation. The throwing form was almost the same in the 3 types of throwing. Kinetic chain sequence from lower to upper segment (pelvis-chest-shoulder) was shown in 3SS and 1SS, although pelvis rotation synchronized chest rotation was in NSS. The peak of the chest was earlier than pelvis in 2 subjects in NSS.

There was correlation between ball velocity and the trunk forward tilt angle at maximal angular velocity of pelvis rotation in the 3 types commonly.

This study suggests that the limitation of activities of lower extremities enhances the activities of upper extremities relatively and the trunk activity affects the ball velocity.

Correspondence to : Yasuyuki YAMASHITA

\*<sup>1</sup> Kawasaki Medical School Kawasaki Hospital

\*<sup>2</sup> Doctoral Program in Health Science,

Graduate School and Technology,

Kawasaki University of Medical Welfare

Okayama, 700-8505, Japan

E-mail : [y.yamashita@hp.kawasaki-m.ac.jp](mailto:y.yamashita@hp.kawasaki-m.ac.jp)

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.25, No.1, 2015 105 – 112)